

**ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES PRÉCIPITATIONS
INTERANNUELLES EN RÉPUBLIQUE DU CONGO DE 1950 A 2017 :
APPLICATION DE LA THÉORIE DES VALEURS EXTRÊMES**

**Achille Patrick BATCHI MAV* , Martin MASSOUANGUI
KIFOUALA et Marie Joseph SAMBA-KIMBATA**

*Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines,
Centre de Recherches sur les Tropiques Humides (CRTH), BP 69,
Brazzaville, République du Congo*

* Correspondance, e-mail : batchiachillepatrick@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif de déterminer les maxima interannuels de précipitations, la distribution fréquentielle et les périodes de retour des pluies extrêmes à partir de la loi GEV. Il ressort de cette étude une augmentation significative de l'intensité des pluies maximales interannuelles entre 1950 et 2017 au aux différentes stations étudiées. Ces pluies ont été ajustées par la loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV). Toutes ces stations obéissent à la loi de weibull du fait que le paramètre de forme est inférieur à 0. Ce qui signifie que ces stations enregistrent des fréquents évènements extrêmes. Le niveau de retour des précipitations aux différentes stations étudiées au Congo n'atteignent pas des valeurs égales à 2000 mm d'eau par an, sauf, à la station de Djambala où ces valeurs sont supérieures ou égales à cette quantité. Les précipitations interannuelles au Congo Brazzaville répondent positivement au modèle d'ajustement dans les stations de Brazzaville, Dolisie, Mouyondzi et Mpouya. Cependant, à Djambala, Gamboma, Impfondo, Makabana, Makoua, Ouessou, Pointe-Noire et Sibiti quelques déviations sont observées. Ces analyses ont permis d'estimer les précipitations interannuelles extrêmes avec un temps de retour de 100 ans pour la plupart des stations au Congo sur la base des tendances observées durant les 68 dernières années.

Mots-clés : *analyse fréquentielle, précipitations interannuelles extrêmes, loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV), Congo Brazzaville.*

ABSTRACT**Frequential analysis of interannual precipitation in the Republic of the Congo from 1950 to 2017 : application of the theory of extreme values**

The main objective of this paper is the statistical modelling of annual rainfall in Congo Brazzaville. To achieve this objective, rainfall data are subjected to statistical processing methods in order to determine annual rainfall maxima, frequency distribution and return periods of rainfall extremes based on the GEV law. This study shows a significant increase in maximum rainfall intensity between 1950 and 2017 in Congo Brazzaville. These were adjusted by the Generalized Law of Extreme Values (GEV). All these stations obey Weibull's law due to the fact that the shape parameter is less than 0, which means that these stations record frequent extreme events. The return level of rainfall in Congo (within the stations) does not reach values equal to 2000 mm of water per year, except at the Djambala station where these values are greater than or equal to this amount. Annual rainfall in Congo Brazzaville responds positively to the adjustment model in the Brazzaville, Dolisie, Mouyondzi and Mpouya stations. However, at Djambala, Gamboma, Impfondo, Makabana, Makoua, Ouesso, Pointe-Noire and Sibiti some deviations are observed. These analyses made it possible to estimate extreme annual rainfall with a return time of 100 years for most of the stations in Congo on the basis of the trends observed over the last 68 years.

Keywords : *Congo Brazzaville, frequency analysis, extreme annual rainfall, Generalized Law of Extreme Values (GEV), modelling.*

I - INTRODUCTION

De nos jours, la survenance des événements extrêmes de plus en plus dévastateurs est monnaie courante [1]. De plus, il est probable qu'il y ait davantage de régions où le nombre d'épisodes de précipitations abondantes a augmenté plutôt que diminué et les pluies extrêmes sont très probablement en augmentation en climat tropical humide et continental [2]. Les intempéries et les crues représentent les aléas naturels occasionnant environ la moitié des dégâts aux infrastructures humaines de toute notre planète [3]. Cette situation s'est aggravée au cours de ces dernières années et elle n'épargne aucun pays dans le monde et en Afrique en particulier [4, 5]. Plusieurs études ont montré que le réchauffement global du climat s'accompagne d'une augmentation de la fréquence des fortes précipitations dans de nombreuses régions du globe [6 - 8]. Cette variabilité climatique associée à la croissance démographique et aux progrès économiques constitue aujourd'hui les facteurs de vulnérabilité des

ressources naturelles [9]. En Afrique tropicale et dans le golfe de Guinée en particulier, les événements hydro climatiques extrêmes tels que les précipitations violentes, les inondations et les sécheresses ne sont pas sans conséquence sur la population et son environnement socioéconomique [10]. Une telle augmentation est aussi perceptible au Congo, notamment dans la partie septentrionale du pays et dans certaines zones urbaines [11]. C'est pour cette raison, que les précipitations interannuelles extrêmes ont été estimées à partir d'analyses statistiques effectuées sur des séries chronologiques des pluies interannuelles pour la période de 1950 à 2017 aux différentes stations du Congo, afin d'examiner si ces valeurs n'ont pas augmenté par rapport aux travaux antérieurs. Ceci dans le but de déterminer les maxima interannuels de précipitations, la distribution fréquentielle et les périodes de retour des extrêmes de pluies à partir de la loi GEV aux différentes stations du Congo Brazzaville.

II - DONNÉES ET MÉTHODES

II-1. Présentation de la zone d'étude

Située au cœur de l'Afrique centrale et à cheval sur l'équateur entre les latitudes 3°30' Nord et 5° Sud, et les longitudes 11° et 18° Est, le Congo-Brazzaville s'étend sur une superficie de 342 000 km² (*Figure 1*). Il renferme trois domaines climatiques : le domaine équatorial dans le nord, le domaine subéquatorial au centre et le domaine tropical dans le sud-ouest. La température moyenne annuelle est de 25°C. Les précipitations sont abondantes dans les régions d'altitude élevée avec plus de 2000 mm d'eau par an (Plateaux Batéké). La vallée du Niari, au sud-ouest, ne reçoit que 1000 à 1400 mm d'eau par an.

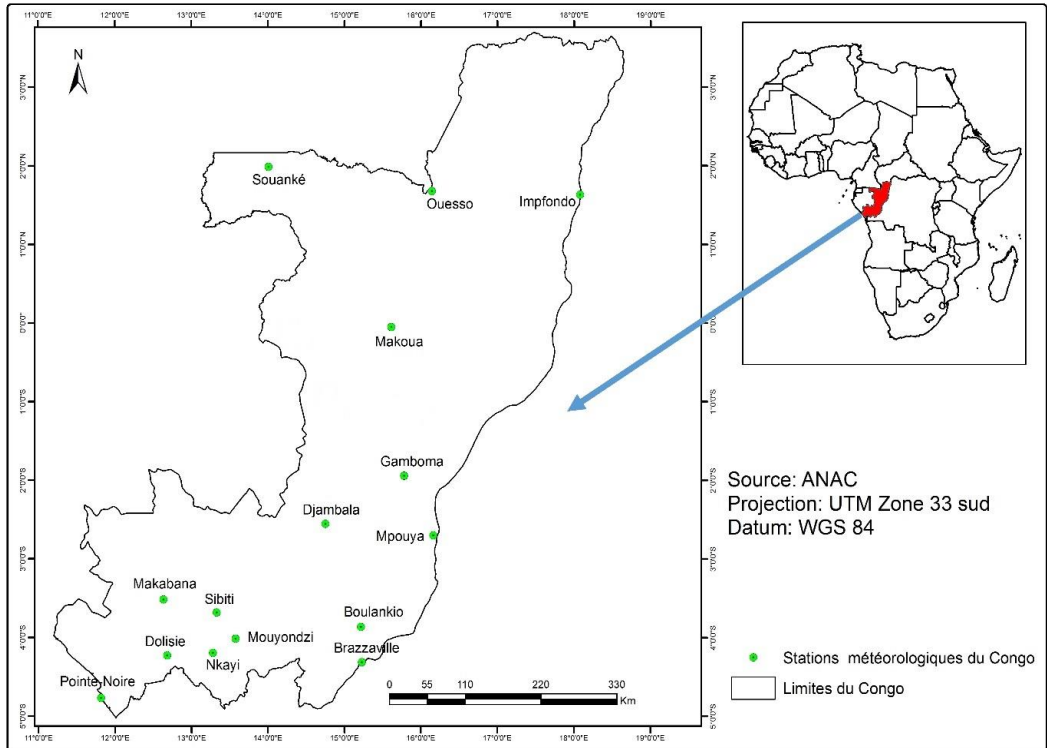


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et des stations étudiées

Tableau 1 : Les principaux observatoires retenus

Stations	Longitudes E	Latitudes	Altitudes (m)	Période 1950-2017	Pluie moyenne (mm)
Djambala	14°46'	02°32'S	790	1950-2017	2000
Gamboma	15°51'	01°54'S	377	1950-2017	1700
Impfondo	18°04'	01°37'N	327	1950-2017	1800
Makoua	15°39'	00°1'S	380	1950-2017	1600
Mpouya	16°13'	02°37'S	313	1950-2017	1550
Ouesso	16°04'	03°17'N	352	1950-2017	1650
souanké	14°02'	02°04'N	550	1950-2017	1600
Brazzaville	15°15'	4°15'S	314	1950-2017	1300
Sibiti	13°24'	3°44'S	535	1950-2017	1500
Makabana	12°37'	03°29' S	160	1950-2017	1300
Dolisie	12°40'	4°11'S	357	1950-2017	1200
Mouyondzi	13°55'	3°59'S	511	1950-2017	1300
Pointe-Noire	11°54'	4°49'S	17	1950-2017	1200

II-2. Données disponibles

Treize (13) stations synoptiques ont été sélectionnées car elles représentent assez les principales régions climatiques du Congo Brazzaville et disposent de longues chroniques pluri-décennales de données pluviométriques. Ces données ont nécessité une critique préalable de la qualité des données et l'analyse des longues chroniques, pour déterminer la variabilité des régimes, les tendances et les relations avec les signaux climatiques majeurs régionaux. Ces séries des données ont été obtenues via la banque de données du Centre de Recherches sur les Tropiques Humides (CRTH) de l'Université Marien Ngouabi (*Tableau 1*), qui a compilé les données recueillies par les observatoires gérés par la Direction de la Météorologie Nationale. Le contrôle qualité a été réalisé avec le progiciel RCLimDex (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>). Le procédé de contrôle de qualité dans RCLimDex n'est pas censé être complet. Néanmoins, elle aide plutôt l'utilisateur à identifier les erreurs d'enregistrement qui peuvent exister dans des données quotidiennes de station. Les valeurs négatives, par exemple, sont considérées comme données manquantes et sont aussitôt remplacées par -99.9.

II-3. Méthodes

L'ensemble des séries chronologiques des précipitations (1950 à 2017) et pour chacune des stations étudiées, a été soumis à l'application de la théorie des valeurs extrêmes dite loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV). Cette loi permet de définir une distribution de probabilité en fonction de la fréquence d'apparition d'événements dans le passé et de prévoir la probabilité d'apparition d'un événement de plus grande ampleur avec une période de retour longue. La littérature consacrée à cette approche statistique de séries chronologiques de variables hydrométéorologiques est particulièrement abondante. Elle est décrite en détail dans [12 - 16]. La GEV est programmée dans le Toolkit Extremes [17] qui est un package du logiciel R. Dans le cadre de notre problème de prédiction des événements extrêmes, il est question de connaître la probabilité de retour à laquelle un événement extrême serait observé. Cet argument conduit à l'approche suivante : les données sont stockées dans des séquences d'observations de taille n , pour une grande valeur de n , ce qui génère une série de maxima de blocs $M_{n1}, M_{n2}, \dots, M_n$, sur lesquels la distribution GEV peut être ajustée. Souvent ces blocs sont choisis de telle manière qu'ils correspondent à une période d'une année, de manière à ce que les maxima de blocs correspondent aux maxima journaliers. Nous pouvons ensuite calculer les quantiles de la loi GEV.

III - RÉSULTATS

III-1. Paramètres des distributions GEV

Les séries des maximums interannuels de toutes les stations du Congo Brazzaville ont été ajustées avec une loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV). Cette distribution à trois paramètres (*Tableau 2*) est adaptée à la modélisation des valeurs maximales annuelles, et comprend notamment comme cas particulier la loi de Gumbel, lorsque que le paramètre de forme de la GEV est égal à 0. Toutes les stations du Congo Brazzaville obéissent à la loi de Weibull du fait que le paramètre de forme est inférieur à 0. Ce qui signifie que ces stations enregistrent des fréquents évènements extrêmes.

Tableau 2 : Paramètres des distributions GEV

Station	Paramètre de forme	Paramètre d'échelle	Paramètre de localisation
Brazzaville	-0.2	182	1300
Djambala	-0.3	147	1884
Dolisie	-0.4	150	1200
Gamboma	-0.6	61	1700
Impfondo	-0.7	113	1700
Makabana	-0.4	83	1300
Makoua	-0.3	123	1600
Mouyondzi	-0.2	98	1300
Mpouya	-0.4	161	1400
Ouéso	-0.4	146	1600
Pointe-Noire	-0.1	91	1200
Sibiti	-0.5	92	1500

III-2. Niveau de retour des précipitations interannuelles au Congo

Le *Tableau 3* montre que quel que soit le niveau de retour et la station considérée, les précipitations au Congo (stations) n'atteignent pas des valeurs égales à 2000 mm d'eau par an. Sauf, à la station de Djambala où ces valeurs sont supérieures ou égales à cette quantité. Cependant, les faibles quantités d'eau apparaissent dans les stations de Makabana, Dolisie et Pointe-Noire.

Tableau 3 : Niveau de retour des précipitations interannuelles au Congo

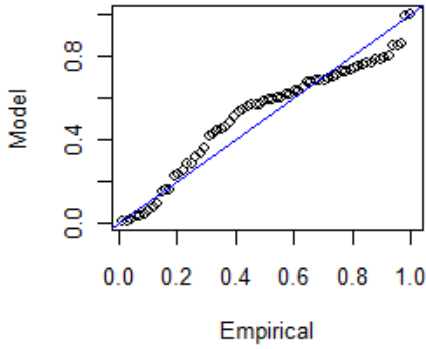
Niveau de retour (ans)	Brazzaville	Djambala	Dolisie	Gamboma	Impfondo	Makabana
5	1500	2066	1346	1750	1840	1370
10	1640	2134	1400	1760	1850	1400
15	1670	2167	1420	1770	1860	1412
20	1700	2188	1440	1778	1870	1420
25	1750	2203	1450	1780	1875	1426
50	1800	2244	1480	1785	1880	1440
75	1850	2264	1490	1790	1884	1450
100	1873	2278	1500	1795	1885	1453

Niveau de retour (ans)	Makoua	Mouyondzi	Mpouya	Ouéso	Sibiti	Pointe-Noire
5	1725	1370	1590	1765	1565	1325
10	1780	1420	1645	1820	1590	1380
15	1804	1440	1670	1840	1600	1400
20	1820	1450	1680	1850	1650	1430
25	1830	1460	1700	1860	1660	1440
50	1860	1490	1720	1880	1780	1480
75	1880	1500	1730	1890	1800	1500
100	1888	1520	1740	1900	1820	1520

III-3. Probabilités des valeurs observées et des valeurs du modèle des précipitations interannuelles

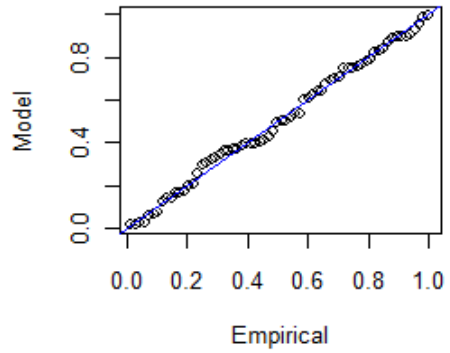
La *Figure 2* fait une comparaison des probabilités et des valeurs empiriques. Dans le cas d'un ajustement parfait, les données s'aligneraient sur la diagonale. Les déviations sérieuses d'une ligne droite suggèrent que le modèle est inadmissible pour les données considérées. Or pour notre cas, il apparaît très net que les précipitations annuelles au Congo Brazzaville répondent positivement au modèle dans les stations de Brazzaville, Dolisie, Mouyondzi et Mpouya. Cependant, la plupart des stations en l'occurrence à Djambala, Gamboma, Impfondo, Makabana, Makoua, Ouésso, Pointe-Noire et Sibiti quelques déviations sont observées.

Probability Plot



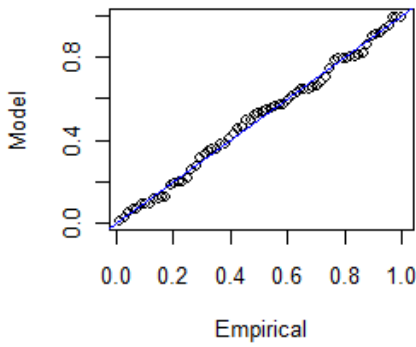
Djambala

Probability Plot



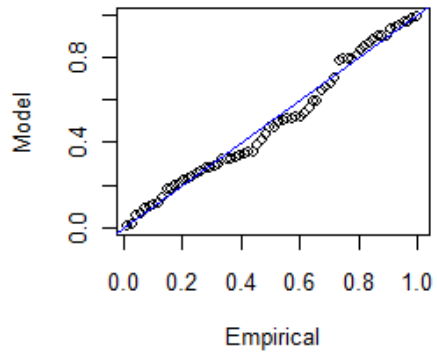
Brazzaville

Probability Plot



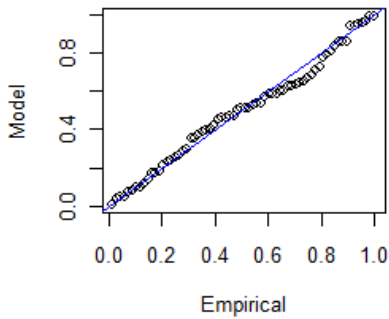
Dolisie

Probability Plot



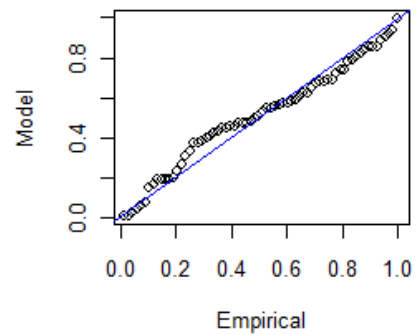
Gamboma

Probability Plot



Impfondo

Probability Plot



Makabana

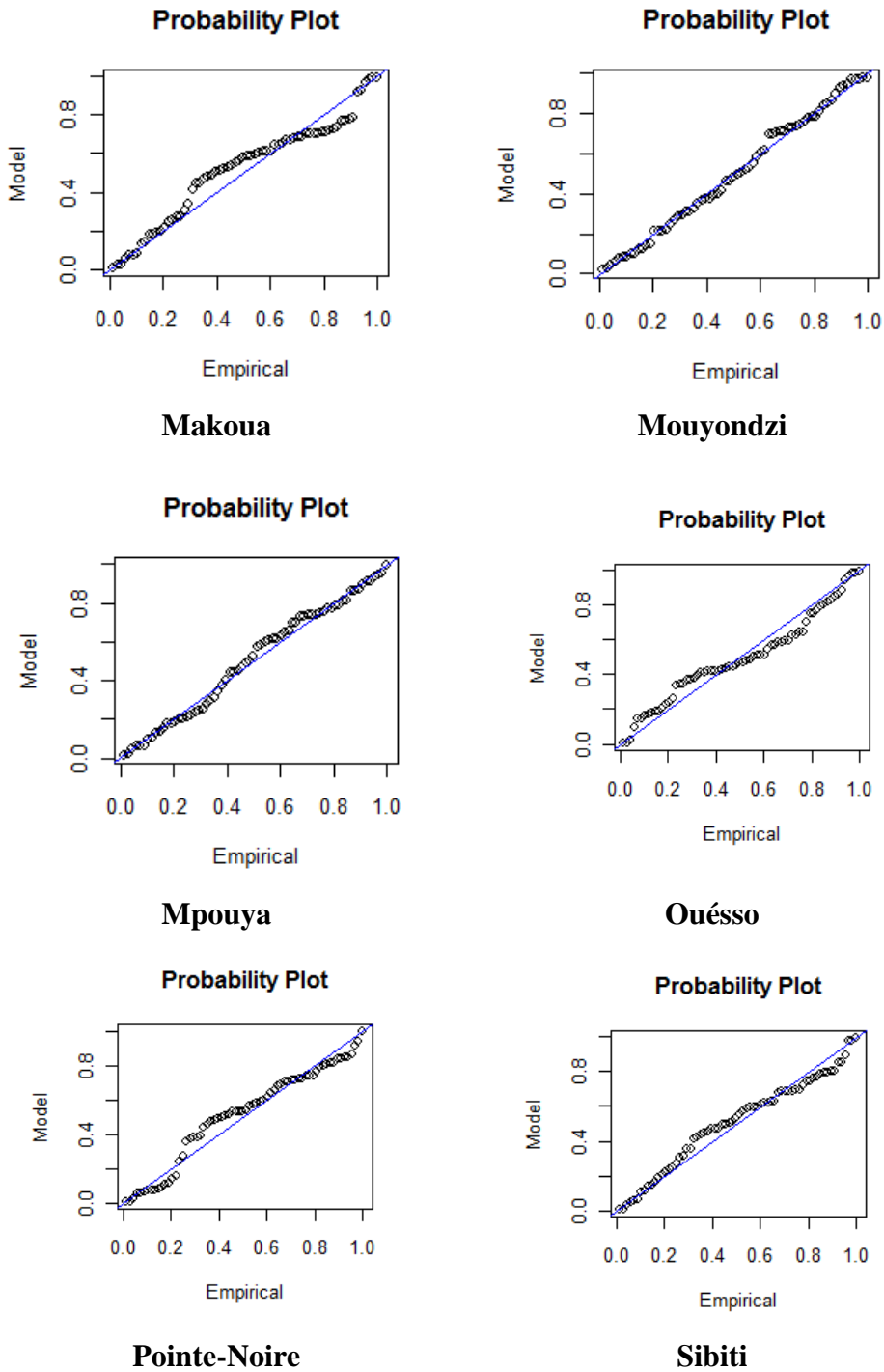
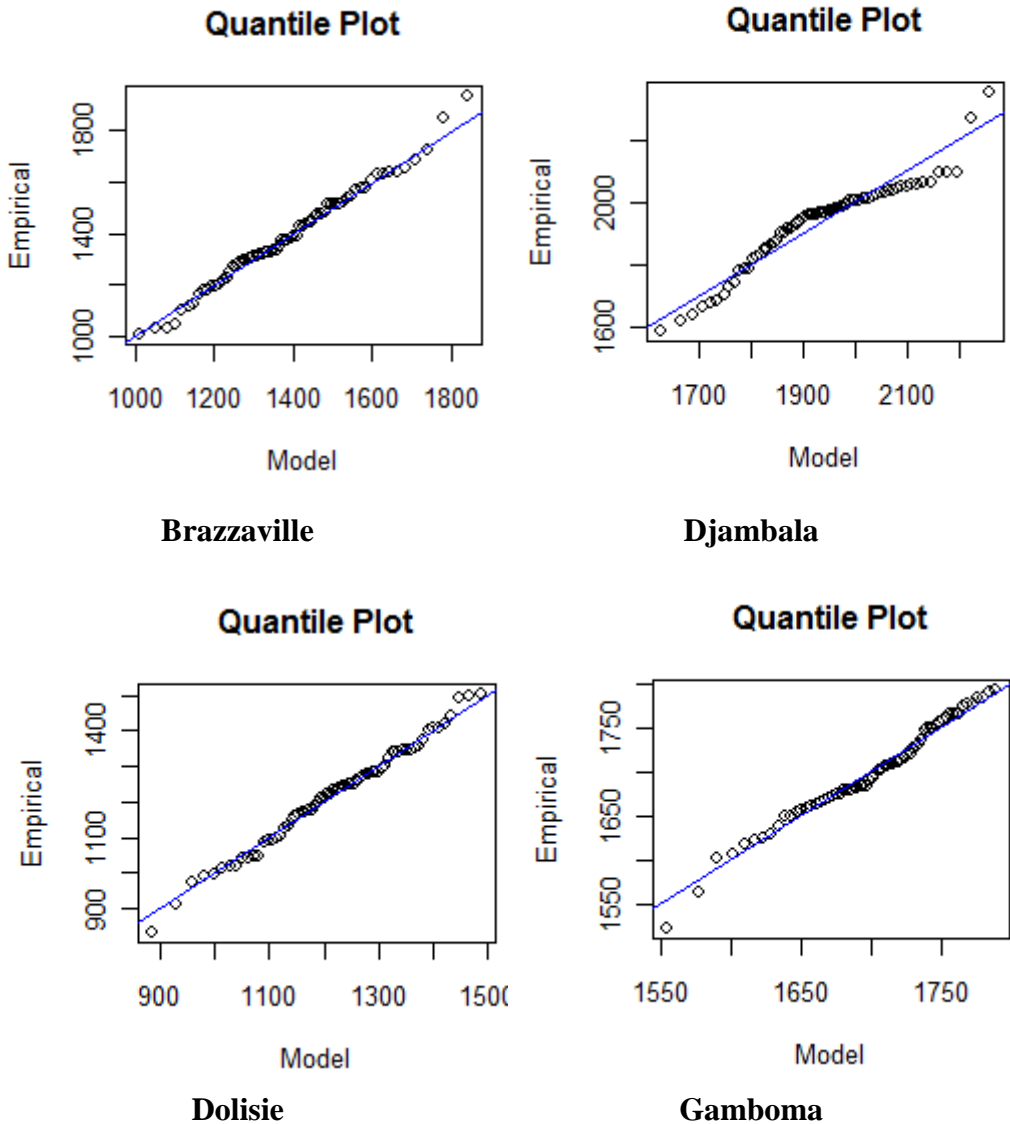


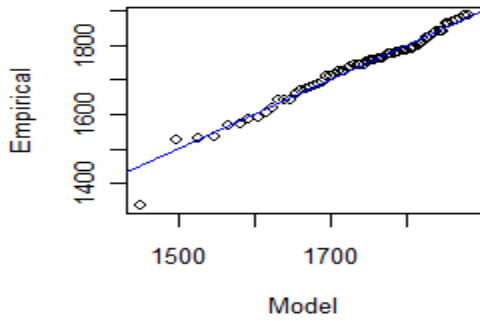
Figure 2 : Probabilités des valeurs observées et des valeurs du modèle des précipitations interannuelles

III-4. Ajustement du modèle des quantiles

Ce modèle ajuste parfaitement bien les différentes séries. En effet, l'ensemble des points est aligné sur la diagonale. La **Figure 3** présente l'ajustement des totaux interannuels des précipitations. Comme on peut le constater, il s'agit d'un ajustement parfait du modèle au niveau des quantiles que des probabilités.

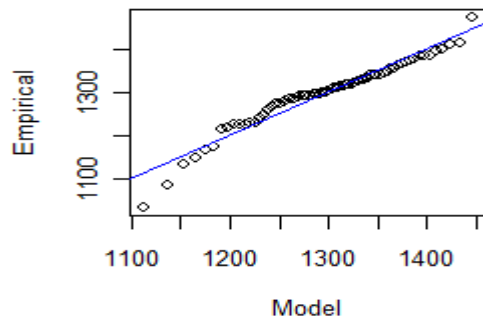


Quantile Plot



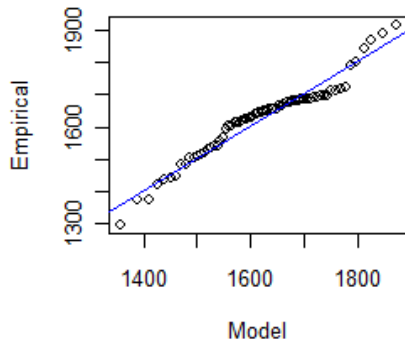
Impfondo

Quantile Plot



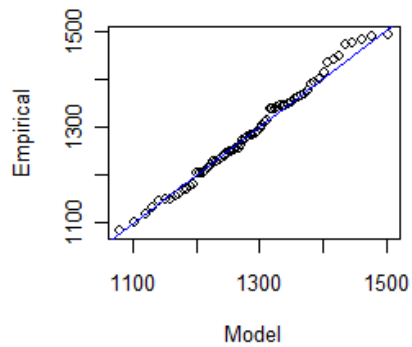
Makabana

Quantile Plot



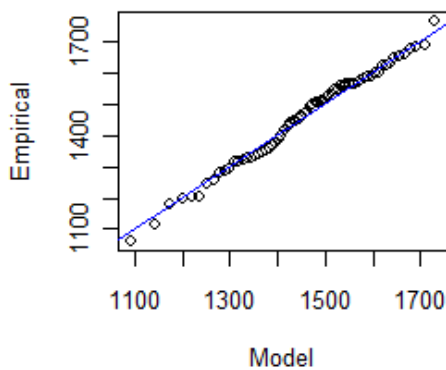
Makoua

Quantile Plot



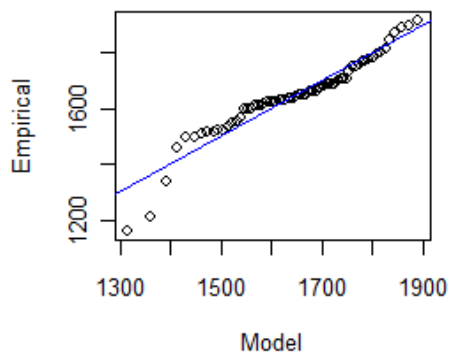
Mouyondzi

Quantile Plot



Mpouya

Quantile Plot



Ouésso

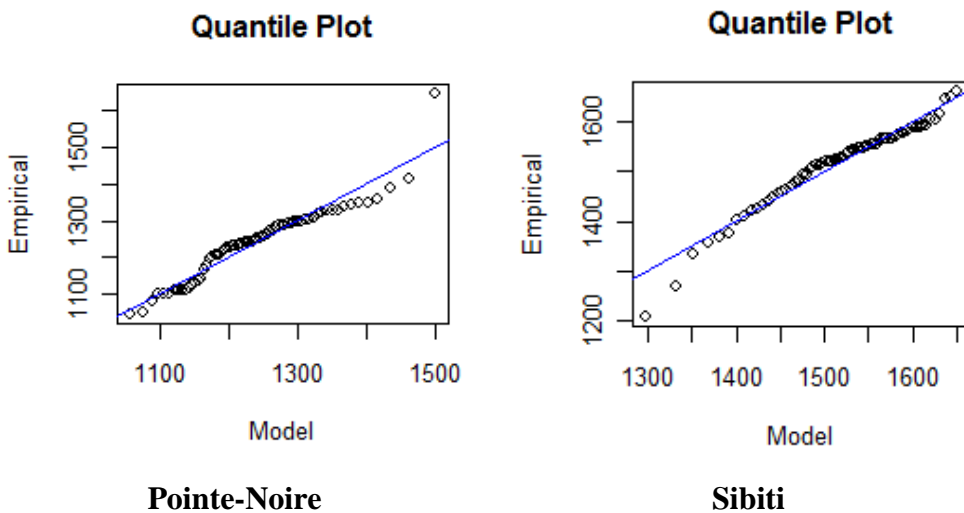
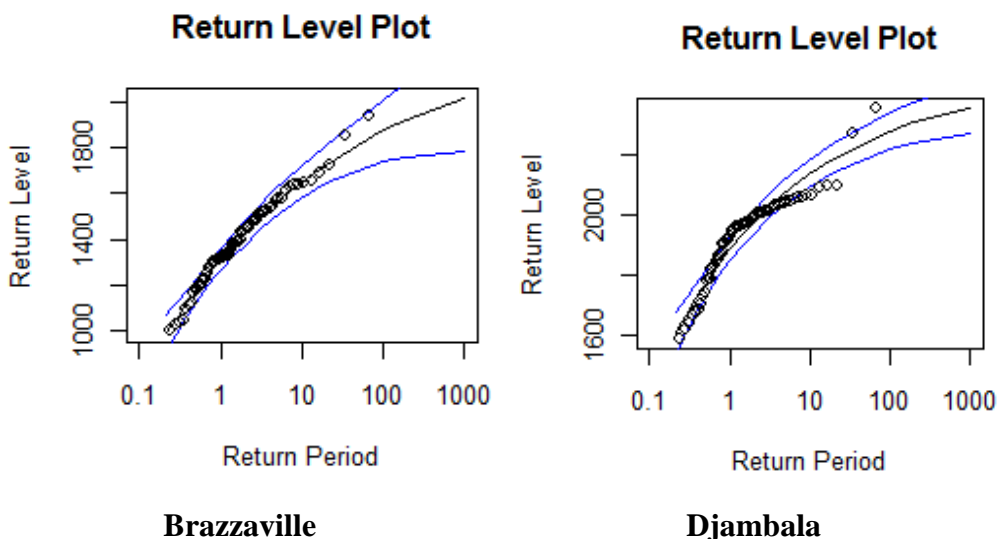


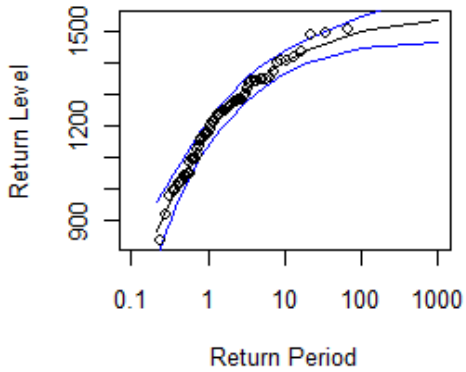
Figure 3 : Ajustement du modèle des quantiles

III-5. Périodes de retour

L'étude diagnostique (*Figure 4*) permet de constater que les données interannuelles sont bien adaptées au modèle. Il paraît très net que la loi de GEV ne permet pas de prédire les valeurs au-delà de 80 ans. La courbe montre qu'après 80 ans, les valeurs sortent de l'intervalle de confiance (les deux lignes bleues) dans les stations de Djambala, Makabana, et Pointe-Noire. La prédiction des données annuelles n'est possible que jusqu'à moins de 100 ans.

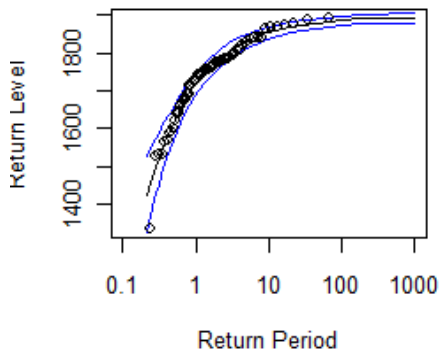


Return Level Plot



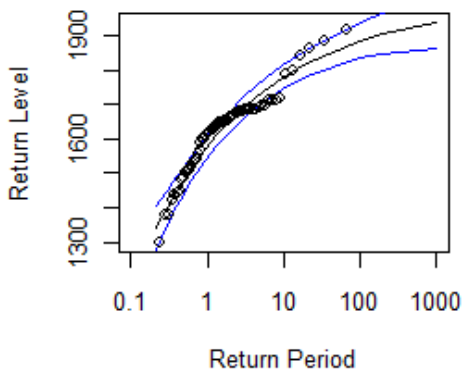
Dolisie

Return Level Plot



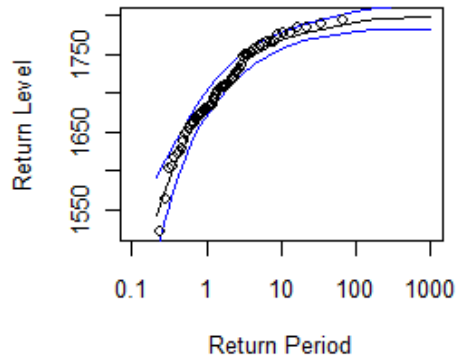
Impfondo

Return Level Plot



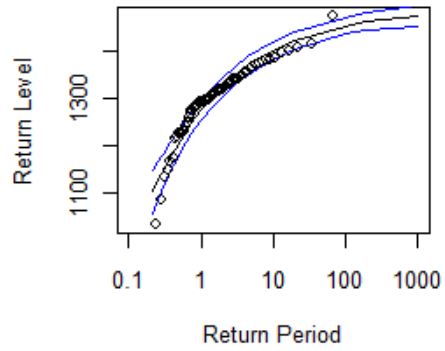
Makoua

Return Level Plot



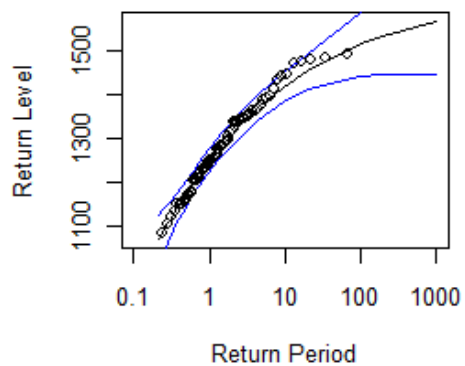
Gamboma

Return Level Plot



Makabana

Return Level Plot



Mouyondzi

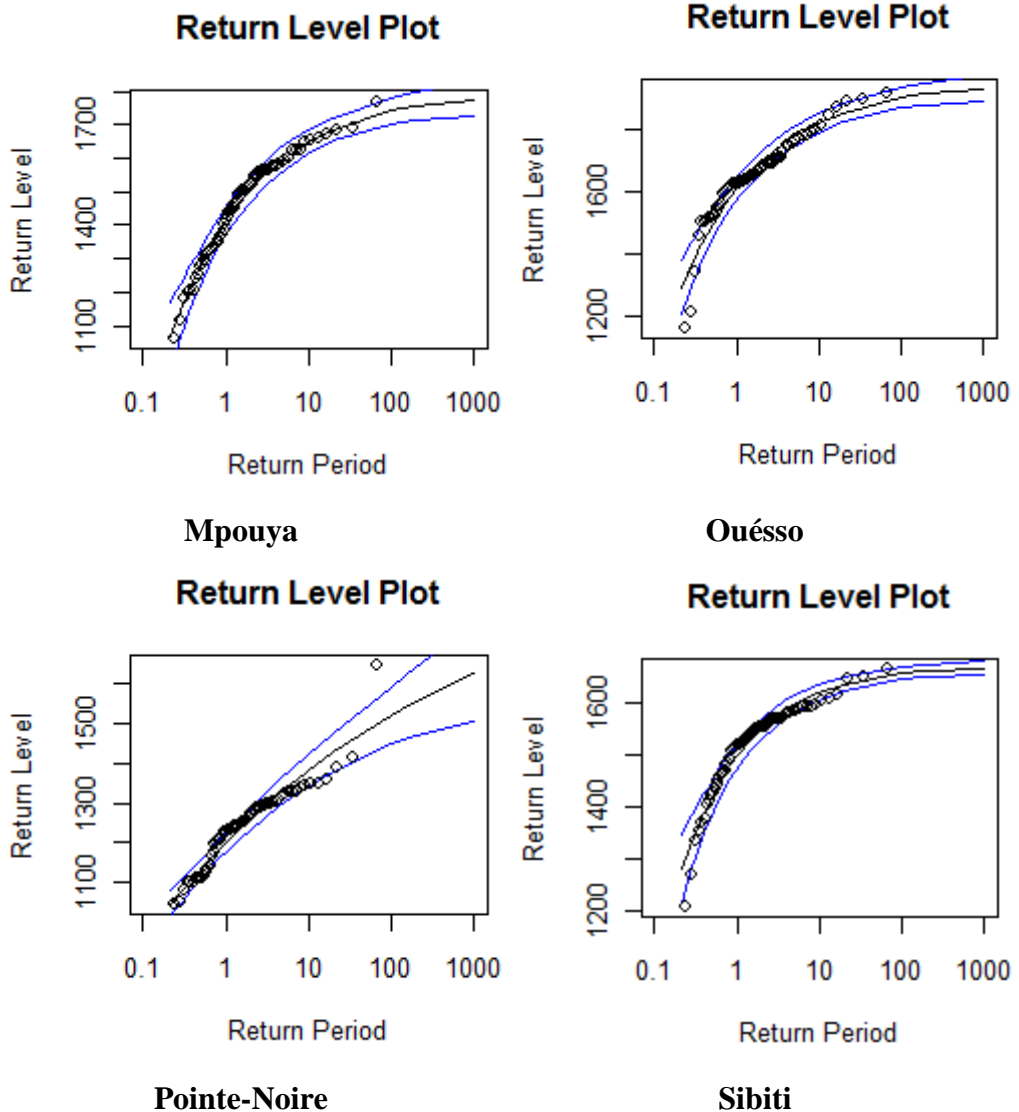


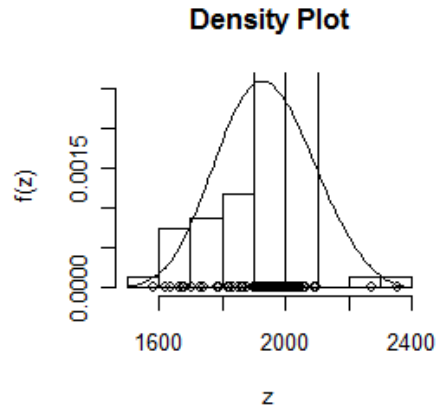
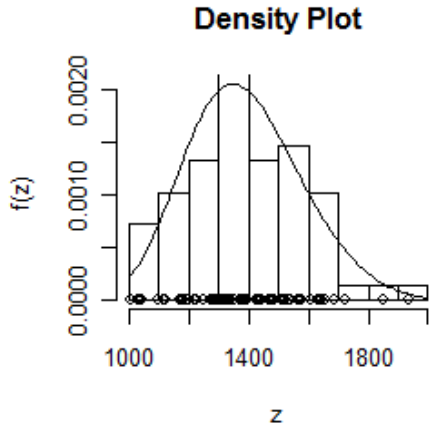
Figure 4 : Périodes de retour

III-6. Histogramme de la variabilité des précipitations interannuelles au Congo Brazzaville

Les totaux pluviométriques interannuels des stations du Congo Brazzaville sont variables d'une station à une autre (*Figure 5*). A la station de Brazzaville, les totaux pluviométriques interannuels les plus fréquents sont compris entre 1350 mm et 1400 mm. Cependant, les totaux pluviométriques interannuels inférieurs à 1350 mm et supérieurs à 1400 mm sont très rares. A

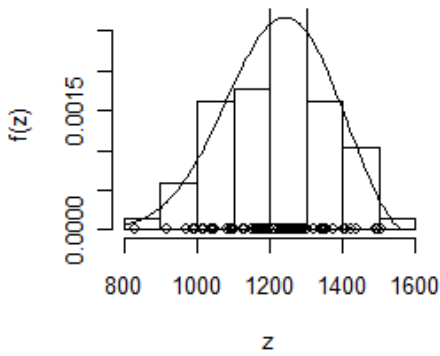
Djambala, les totaux pluviométriques interannuels les plus fréquents sont variables entre 1800 mm et 1900 mm. Mais les totaux pluviométriques interannuels inférieurs à 1700 mm et supérieurs à 1990 mm sont aussi rares (**Figure 5**). La station de Dolisie enregistre les totaux pluviométriques interannuels remarquables variant entre 1150 mm et 1300 mm. Les totaux pluviométriques interannuels les plus rares sont inférieurs à 1100 mm et supérieurs à 1300 mm. La station de Gamboma fait apparaître les totaux pluviométriques interannuels les plus remarquables compris entre 1650 mm et 1720 mm. A la station d'Impfondo, les totaux pluviométriques interannuels observés entre 1700 mm et 1850 mm sont les plus remarquables. A Makabana, ils sont remarquables entre 1300 mm et 1350 mm. Par contre, les totaux pluviométriques interannuels les plus faibles sont inférieurs à 1200 mm et supérieurs à 1400 mm. A Makoua, les totaux pluviométriques annuels sont plus remarquables entre 1600 mm et 1650 mm. Les moins remarquables sont inférieurs à 1600 mm et supérieurs à 1650 mm.

Mouyondzi enregistre plus les quantités d'eau annuelles les plus remarquables oscillant autour de 1350 mm. Les quantités d'eau annuelles inférieures à 1300 mm et supérieures 1350 mm sont très faibles et rares. Mpouya montre une régularité des totaux pluviométriques annuels de 1550 mm à 1600 mm. Les totaux pluviométriques annuels les plus rares sont inférieurs à 1500 mm et supérieurs à 1600 mm (**Figure 5**). La station de Ouesso présente des quantités d'eau interannuelles régulières variant entre 1600 mm et 1800 mm. Les rares quantités d'eau sont inférieures à 1500 mm et supérieures à 1800 mm. A la station de Pointe-Noire, les quantités d'eau interannuelles les plus fréquentes sont comprises entre 1200 mm et 1300 mm. Cependant, les plus rares sont inférieures à 1100 mm et supérieures à 1350 mm. A la station de Sibiti (**Figure 5**) les totaux pluviométriques interannuels les plus remarquables varient entre 1500 mm 1550 mm. Contrairement, aux totaux pluviométriques interannuels inférieurs à 1400 mm et supérieurs à 1600 mm qui sont rares.



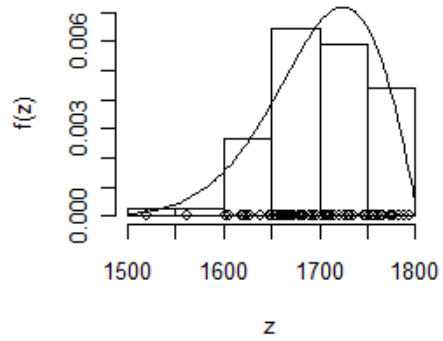
Brazzaville

Density Plot



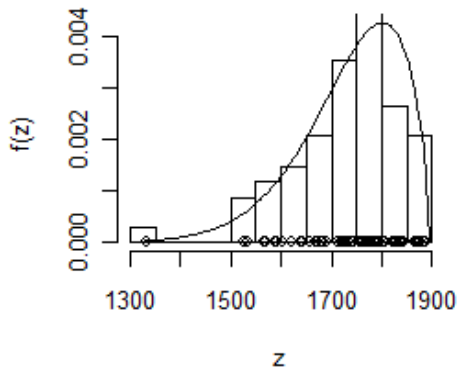
Djambala

Density Plot



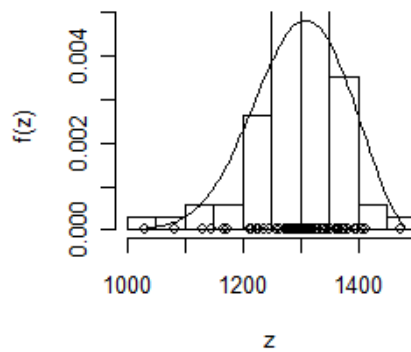
Dolisie

Density Plot



Gamboma

Density Plot



Impfondo

Makabana

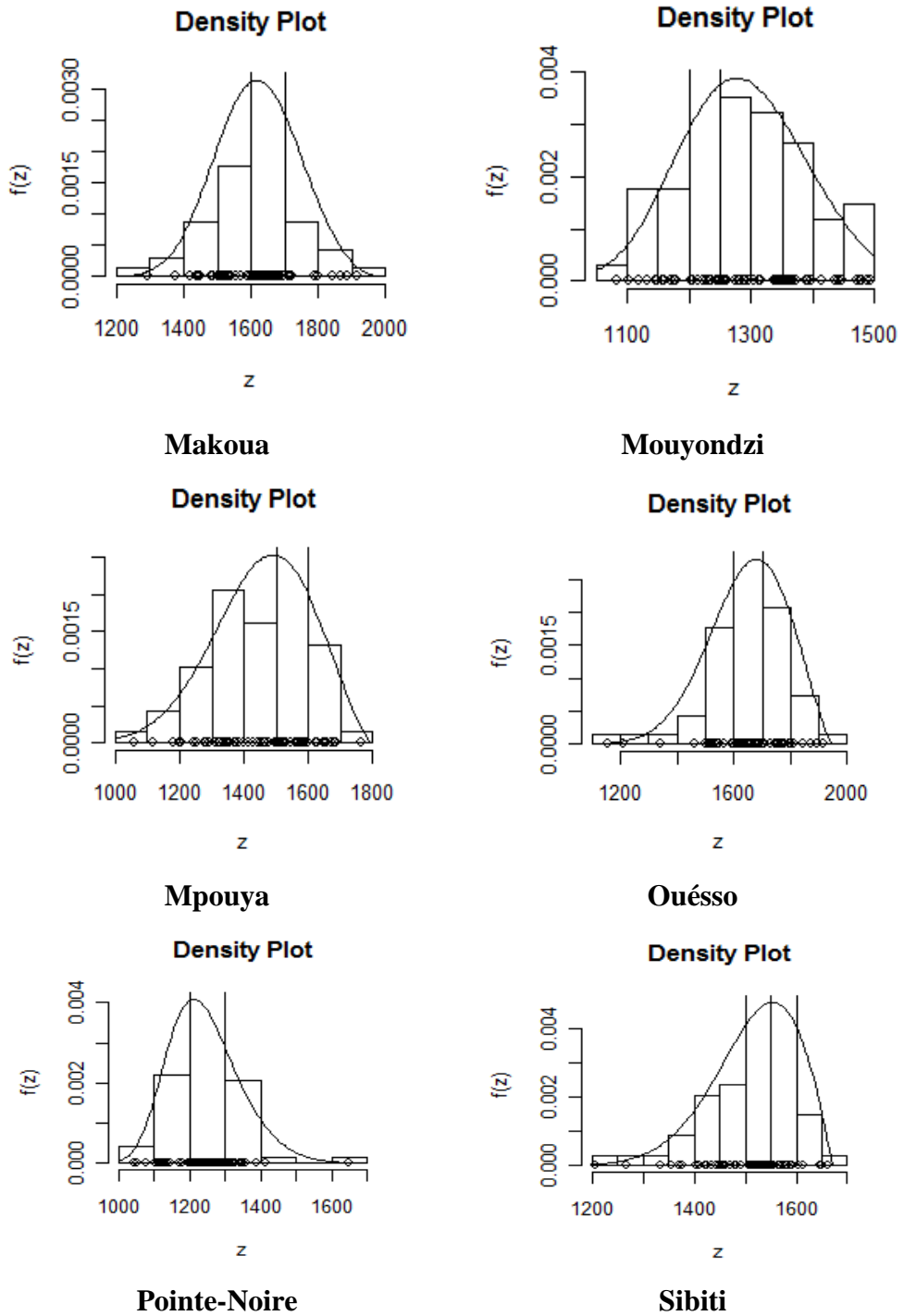


Figure 5 : *Histogramme de la variabilité des précipitations interannuelles au Congo Brazzaville*

IV - DISCUSSION

Les analyses de la loi de GEV effectuées sur les séries des précipitations maximales interannuelles à partir des stations du Cogo Brazzaville pour la période de 1950 à 2017 ont permis d'estimer efficacement ces précipitations avec un temps de retour de 100 ans. Celles-ci obtenues pour la période d'étude sont globalement plus élevées. La *Figure 4* présente à titre d'exemple les droites de régression obtenues pour les précipitations interannuelles. On constate que ces droites de régression de la loi de GEV obtenues à partir des valeurs maximales interannuelles pour une période de 80 ans explique bien les variations de ces valeurs. Elle permet par conséquent une bonne estimation des précipitations centennales. Les séries des maximums interannuels des différentes stations étudiées ont été ajustées avec une loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV). Cette distribution à trois paramètres est adaptée à la modélisation des valeurs maximales annuelles. Il ressort de cette étude une augmentation significative de l'intensité des pluies maximales entre 1950 et 2017 au Congo Brazzaville. Celles-ci ont été ajustées par la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV). Toutes ces stations obéissent à la loi de Weibull du fait que le paramètre de forme est inférieur à 0, ce qui signifie que ces stations enregistrent des fréquents événements extrêmes.

L'application de la théorie des valeurs extrêmes en Zone Tropicale d'Afrique Centrale particulièrement au Congo Brazzaville est marquée par une hausse des hauteurs des précipitations interannuelles pour les périodes de retour. La modélisation statistique des pluies annuelles montre une adaptation très parfaite de ces valeurs au modèle d'excès des seuils, la loi de GEV. Les valeurs associées aux différents niveaux de retour sont assez fortes. L'originalité de cette étude réside dans son approche méthodologique. Cette approche nous a permis de constater que les précipitations annuelles selon les périodes de retour tendent à persister et à s'accroître dans le temps. Ces résultats corroborent avec les travaux de [11]. Ces derniers ont fait remarquer que les débits du fleuve Congo obéissent à la loi de Weibull. Ce qui revient à dire que le fleuve Congo enregistre des nombreux événements extrêmes. Aussi, la formule de Weibull serait la meilleure pour estimer les précipitations journalières centennales à partir de la série de mesures pluviométriques 1961-2010 [18]. Ces résultats corroborent avec les travaux [18] qui travaillant sur l'analyse hydrométéorologique des crues dans le bassin-versant du Mono en Afrique de l'Ouest avec un modèle conceptuel pluie-débit montre une variation des précipitations marquée par une augmentation des maxima annuels. Ces maximums annuels modélisés par une distribution des valeurs extrêmes (GEV) suivent une loi GEV de type

Weibull. Il ressort de cette étude une augmentation significative de l'intensité des pluies annuelles entre 1950 et 2017 au Congo Brazzaville. L'ajustement de la loi GEV, ici de type Weibull, se révèle bien adapté pour des précipitations annuelles, avec des périodes de retour très marquées entre les différents niveaux de retour. Lorsque l'on compare les quantiles estimés à partir des approches locale et régionale, on observe pour les fortes périodes de retour, des écarts qui se manifestent par une sous-estimation ou une surestimation dans des proportions raisonnables des différents quantiles estimés. Ces différents résultats nous permettent de conclure que la méthode proposée dans cette étude est bien indiquée pour l'estimation des précipitations interannuelles. De nombreux auteurs ont récemment montré l'efficacité de cette loi avec la distribution des maxima interannuels de pluie. L'enjeu d'un tel débat entre la loi de Gumbel et la loi GEV est considérable, puisqu'il est directement lié à la sécurité des structures hydrauliques. Les graphiques d'ajustement montrent que les précipitations annuelles s'ajustent mieux suivant la loi GEV alors que la distribution des faibles valeurs diffère d'une loi à une autre [19].

L'incertitude associée aux événements extrêmes observés est plus grande pour des périodes de retour supérieures à 50 ans et la variance des quantiles de la loi Gumbel est moins forte que celle des quantiles de la loi GEV. Ces résultats confirment ceux trouvés par l'Office Mondiale de la Météorologie (OMM, 1989) qui a montré que 55 agences de 28 pays utilisent la loi des valeurs extrêmes (GEV) [19]. La formule de Weibull souvent utilisée aux USA [20] serait donc la plus efficace pour estimer les précipitations journalières centennales en Suisse à partir de la série de mesures 1961-2010. [10] travaillant sur l'évolution des précipitations extrêmes dans le bassin versant du mono (Bénin-Togo) constate que l'ajustement de la loi GEV, ici de type Weibull, se révèle bien adapté pour la simulation des événements pluvieux extrêmes, avec des périodes de retour très marquées. Les précipitations interannuelles au Congo Brazzaville répondent positivement au modèle d'ajustement dans les stations de Brazzaville, Dolisie, Mouyondzi et Mpouya. Ces analyses ont permis d'estimer les précipitations annuelles extrêmes avec un temps de retour de 100 ans pour la plupart des stations au Congo.

V - CONCLUSION

Les analyses de l'application de la loi GEV (loi Généralisée des Valeurs Extrêmes) effectuées sur les séries de mesures de précipitations des stations du Congo pour la période 1950-2017 ont permis d'estimer les précipitations interannuelles extrêmes avec un temps de retour de 100 ans pour la plupart des stations au Congo sur la base des tendances observées durant les 68

dernières années. Cette tendance à la hausse devrait se poursuivre durant le 21^{ème} siècle selon les modèles climatiques. On peut penser que les précipitations interannuelles estimées à partir des séries de mesures 1950-2017 seront également trop basses par rapport aux pluies interannuelles extrêmes qui seront mesurées durant le 21^{ème} siècle. Dans ces conditions, les analyses de la loi GEV (loi Généralisée des Valeurs Extrêmes) tendent à sous-estimer les précipitations annuelles avec un temps de retour supérieur aux séries de mesures disponibles et il conviendrait de tester d'autres outils statistiques proposés par certains auteurs dans ce genre de situation. Au Congo, le champ pluviométrique moyen interannuel montre une variabilité spatiale. La station de Djambala reçoit plus de pluies, de l'ordre de 2000 mm que toutes les autres. Par contre, les stations de Pointe-Noire, et Dolisie reçoivent la plus faible quantité d'eau (1200 mm). Celle de Mpouya : 1550 mm, Makoua et : 1623 mm, Gamboma, 1650 mm, Impfondo : 1800 mm.

RÉFÉRENCES

- [1] - Y. P. GBOHOUI, Y. C. HOUNTONDI, F. De LONGUEVILLE et P. OZER, Aperçu synoptique de la variabilité des extrêmes climatiques au Bénin (1960-2016), sciences conf. Org : aic 2018:199154, (2018) 98 - 103
- [2] - GIEC, Changements climatiques : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC. Genève. Suisse, (2014) 161
- [3] - J. M. FALLOT & J. A. HERTIG, Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques et augmentation des valeurs extrêmes durant le 20^{ème} siècle. Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles, 25 (2013) 23 - 34
- [4] - C. G. ETENE, Erosion ravinante dans l'Arrondissement de Togba au Bénin. *Revue Climat et Développement*, N° 23 (2017) 41 - 56
- [5] - C. G. ETENE et M. BOKO, Perturbation pluviométrique et inondation dans la commune de Dangbo au Bénin, XXVII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie 2-5 juillet 2014 – Dijon (France), (2014) 619 - 624
- [6] - C. FREI, H. C. DAVIES, J. GURTZ, C. SCHÄR, Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. *Integrated Assessment*, 1 (2000) 281 - 299
- [7] - IPCC, Impacts Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, (2007) 976
- [8] - S. TRÖMEL, C. D. SCHÖNWIESE, Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, 87 (2007) 29 - 39

- [9] - E. AMOUSSOU, Analyse hydrométéorologique des crues dans le bassin-versant du Mono en Afrique de l'Ouest avec un modèle conceptuel pluie-débit. FMSH-WP-2015-90. 2014. <halshs-01143318> Fondation Maison des sciences de l'homme - 190 avenue de France - 75013 Paris - France <http://www.fmsch.fr> - FMSH-WP-2014-90, (2015) 27
- [10] - E. AMOUSSOU, P. CAMBERLIN, S.H. TOTIN VODOUNON, Y. TRAMBLAY, C. HOUNDENOU, G. MAHE, J.-E. PATUREL, M. BOKO, Evolution des précipitations extrêmes dans le bassin versant du Mono (Bénin-Togo) en contexte de variabilité/changement climatique, XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie 2-5 juillet 2014 – Dijon (France), (2014) 331 - 337
- [11] - M. MASSOUANGUI KIFOUALA, S. P. L. MALEKE et M. J. SAMBA KIMBATA, Application de la théorie classique des valeurs extrêmes (tve) en hydrologie : modélisation statistique des débits du fleuve Congo à Brazzaville, Annales de la Faculté des lettres et des sciences humaines, Université Marien Ngouabi, République du Congo, N°8 (2017) 321 - 333
- [12] - S. COLES, An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values. London, Springer Verlag, (2001) 211
- [13] - A. DAVISON and D. HINKLEY, Bootstrap Methods and Their Applications. Cambridge Series in Statistical & Probabilistic Mathematics, Cambridge University Press; ISBN : 0521574714, (1997) 592
- [14] - G. A. MEEHL, T. KARL, D. R. EASTERLING, S. CHANGNON, R. PIELKE, D. CHANGNON, J. EVANS, P. Ya. GROISMAN, T. R. KNUTSON, K. E. KNUKEL, L. O. MEARNS, C. PARMESAN, R. PULWARTY, T. ROOT, R. T. SYLVES, P. WHETTON and F. ZWIERS, An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections, *Bull. Am. Met.Soc.*, 81 (2000) 413 - 416
- [15] - J. P. LABORDE, Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice – Sophia Antipolis, (2000) 204
- [16] - J. PICKANDS, "Statistical inference using extreme order statistics", *Ann. Statist.*, 3 (1975) 119 - 131
- [17] - E. GILLELAND and R.W. KATZ, "Tutorial for The Extremes Toolkit: Weather and Climate Applications of Extreme Value Statistics", <http://www.assessment.ucar.edu/toolkit>, (2005) 130
- [18] - J. M. FALLOT, Evaluation des différentes formules de la loi de Gumbel pour l'estimation des précipitations journalières extrêmes en Suisse. Actes du 26ème colloque international de l'Association Internationale de Climatologie, Cotonou, Bénin, 3-7.09.2013, (2013) 224 - 229
- [19] - H. BRAHIM, M. MOHAMED, B. ABDELKADER, Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales cas du Bassin Chott-Chergui, *Revue « Nature & Technologie »*. C- Sciences de l'Environnement, n° 08/Janvier 2013, (2011) 41 - 48
- [20] - J. R. STEDINGER, R. M. VOGEL, E. FOUFOULA-GEORGIU, Frequency analysis of extreme events. In Maidment, D. (Ed.), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York (Chapter 18), (1993)